



Wichtige Kenngrößen von Kraftaufnehmern

Thomas Kleckers
HBM GmbH, Im Tiefen See 45, 64293 Darmstadt
E-Mail: thomas.kleckers@hbm.com

Wie funktioniert ein Kraftaufnehmer auf Basis von Dehnungsmessstreifen?

Kraftaufnehmer auf Basis von Dehnungsmessstreifen verfügen über einen so genannten Federkörper oder Verformungskörper, in den die zu messenden Kräfte eingeleitet werden.

Dabei verformt sich der Federkörper und an der Oberfläche entstehen Dehnungen. Die Aufgabe des Federkörpers besteht also darin, die zu messenden Kräfte möglichst wiederholbar und linear in Dehnungen umzuwandeln. Mit der Auswahl von Material und Design eines Federkörpers legt man viele Eigenschaften eines Kraftaufnehmers fest.

Das eigentliche Sensorelement ist der Dehnungsmessstreifen (DMS). DMS bestehen aus einer Isolierschicht, dem so genannten Träger, auf dem ein Messgitter angebracht ist. Solche Dehnungsmessstreifen werden an geeigneter Stelle auf den Federkörper geklebt. Dabei werden in der Regel vier DMS verwendet, von denen zwei so installiert werden, dass sie unter Einwirkung einer Kraft gedehnt werden, die zwei anderen werden gestaucht.

Diese vier DMS werden in der Wheatstoneschen Brückenschaltung verschaltet. Wie in der Zeichnung unten gezeigt, wird die Wheatstone-Brücke mit einer Speisespannung versorgt. Eine Ausgangsspannung entsteht immer dann, wenn sich die vier Widerstände in unterschiedlicher Richtung ändern, das heißt wenn zwei gestaucht und zwei gedehnt werden. Dies ist z. B. der Fall, wenn Dehnung in die DMS eingeleitet wird. Dabei müssen gegenüberliegende DMS gleichbelastet werden. Ändert sich der Widerstand aller DMS in gleicher Richtung und mit gleichem Betrag, so wird kein Ausgangssignal erzeugt.

Es gilt:

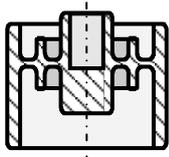
$$\frac{U_a}{U_0} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

U_a = Ausgangsspannung

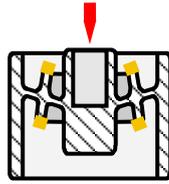
U_0 = Versorgungsspannung

K = k-Faktor der DMS (Dehnungsempfindlichkeit)

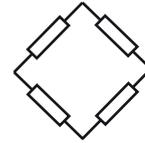
ε = Dehnung an den DMS



Federkörper



Die zu messende Kraft bewirkt Verformungen des Federkörpers. Dehnungsmessstreifen wandeln die Dehnungen in Widerstandsänderungen um.



Mit Hilfe der Wheatstone-Brücke können kleinste Widerstandsänderungen als elektrische Spannungen gemessen werden.

Arbeitsweise eines Kraftaufnehmers auf Basis von Dehnungsmessstreifen am Beispiel eines Ringtorsionsaufnehmers (Type: C18).

Das Ausgangssignal hängt von der Größe der Widerstandsänderung der DMS ab. Da die Dehnung proportional von der eingeleiteten Kraft abhängt und die Widerstandsänderung der DMS linear von der anliegenden Dehnung abhängt, ist auch das Ausgangssignal linear mit der zu messenden Kraft verbunden.

Dieses Prinzip hat sich millionenfach bewährt und bietet zahlreiche Vorzüge. Die wichtigsten im Überblick:

- Ändern sich die elektrischen Widerstände der DMS in gleicher Richtung mit gleichem Betrag, so wird keine Ausgangsspannung erzeugt. Somit können viele parasitäre Einflüsse, wie z. B. Temperaturabhängigkeit des Nullpunktes, Biegemomenteinflüsse oder Querkrafteinflüsse kompensiert werden (siehe unten).
- Das Messprinzip erlaubt die Herstellung von Kraftaufnehmern mit sehr hohen Genauigkeiten bei vergleichsweise geringen Kosten.
- Die Nennkraft des Aufnehmers wird nur durch die Steifigkeit des Federkörpers bestimmt. Bei HBM stehen Aufnehmer mit Nennkräften zwischen 10 N und 5 MN zur Verfügung.

1. Allgemeine Kenngrößen

Nennkraft (F_{nom})

Die Nennkraft beschreibt, bei welcher Kraft der Aufnehmer zu 100 % belastet ist. Innerhalb dieses Kraftbereiches werden alle Spezifikationen des Aufnehmers eingehalten. Beachten Sie bitte, dass auch Taralasten, die z. B. durch das Eigengewicht von Anbauteilen entstehen können, eingerechnet werden müssen und einen Teil der Nennkraft aufbrauchen. Bei dynamischer Belastung ist die Schwingbreite der Aufnehmer zu beachten.

Kennwert (c)

Der Kennwert gibt an, welches Ausgangssignal in mV/V entsteht, wenn der Aufnehmer mit 100 %, also mit Nennkraft belastet wird. Dabei wird ein eventuelles Nullsignal abgezogen. Beispiel: Ein Aufnehmer zeigt ein Nullsignal von -0,1 mV/V. Der Kennwert ist 2 mV/V, dann liegt bei Nennkraft ein Ausgangssignal von 1,9 mV/V an.

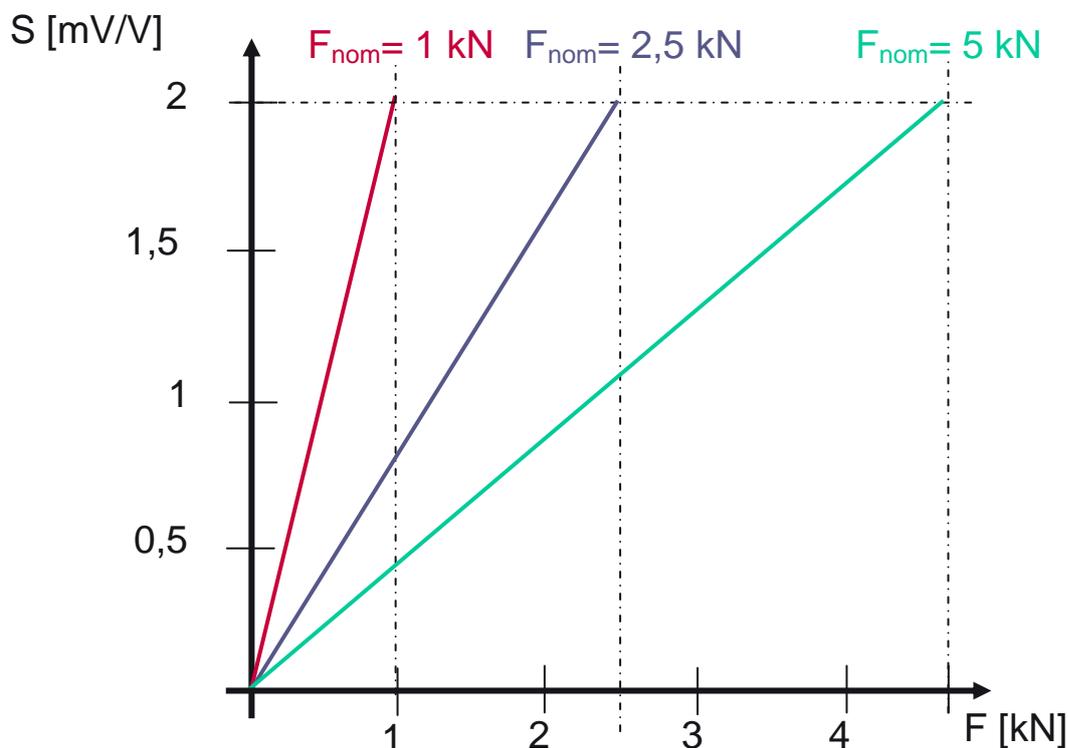
2 mV/V ist ein sehr übliches Ausgangssignal für Kraftaufnehmer. Wie oben beschrieben sind Kraftaufnehmer auf Basis von DMS auf eine Spannungsversorgung angewiesen, die von den Messverstärkern zur Verfügung gestellt wird (Speisespannung). Ein Kennwert von 2 mV/V bedeutet, dass ein Kraftaufnehmer bei Nennkraft ein Ausgangssignal von 2 mV erzeugt, wenn er mit einem Volt gespeist wird. Bei einer Speisung mit 5 V liegen entsprechend 10 mV am Ausgang an.

Die Ausgangsspannung eines Kraftaufnehmers lässt sich berechnen durch:

$$U = U_0 \cdot C \cdot \frac{F}{F_{nom}}$$

Dabei ist U die Ausgangsspannung, U_0 die Speisespannung, C der Kennwert, F die wirkende Kraft und F_{nom} die Nennkraft des Aufnehmers. In dieser Formel ist das Nullsignal als ideal null vorausgesetzt.

Genauso verhält sich der Aufnehmer auch, wenn sich die Kraft ändert, d. h. der Aufnehmer im Beispiel mit halber Nennkraft belastet wird, sodass 1 mV/V am Ausgang anliegt. Bei einer Speisung von 5 V entspricht dies 5 mV.



Die Kennlinien von drei verschiedenen Kraftaufnehmern mit einem Kennwert von 2 mV/V, aber unterschiedlichen Nennkräften. Je kleiner die Nennkraft, desto steiler ist die Kennlinie im Diagramm, der Kraftaufnehmer ist dann empfindlicher.

In den technischen Datenblättern ist ein Nennkennwert angegeben. Dieser Kennwert gilt für alle Kraftaufnehmer eines Typs und ist deshalb mit einer Toleranz versehen, der sogenannten „Kennwerttoleranz“.

Aus diesem Grund liegt jedem HBM-Kraftaufnehmer ein Prüfprotokoll bei, das den exakten Kennwert für den entsprechenden Aufnehmer aufweist.

Tipp: Stellen Sie den Messverstärker immer nach den Angaben des Prüfprotokolls oder einer vorhandenen Kalibrierung ein, um die optimale Messgenauigkeit zu erreichen. Die Kennwerttoleranz hat in diesem Fall keinen Einfluss auf die Fehlerberechnung.

Es ist auch möglich, den Aufnehmer mit so genannten TEDS zu bestellen. Hierbei wird ein kleiner Chip in den Aufnehmer oder das Kabel eingebaut, in dem die exakten Angaben des Prüfprotokolls gespeichert sind. Geeignete Messverstärker können dies auslesen und stellen sich entsprechend automatisch ein.

Relativer Kennwertunterschied Zug/Druck (d_c)

Kraftaufnehmer, die für Zug- und Druckbelastung einsetzbar sind, weisen oft aus mechanischen Gründen einen kleinen Unterschied der Kennlinie auf, je nachdem, ob sie im Bereich der Zug- oder der Druckkräfte zum Einsatz kommen.

Der maximale Unterschied wird mit dieser Kenngröße beschrieben.

Nullsignal

Das Nullsignal ist das Ausgangssignal des Kraftaufnehmers im nicht montierten Zustand. Wenn Sie den Kraftaufnehmer montieren, ändert sich das Signal durch Vorspannungen und Massen der Anbauteile.

2. Mechanische Kenngrößen

Nennmessweg (s_{nom})

Unter Einwirkung der zu messenden Kraft verformt sich der Kraftaufnehmer entsprechend. Der Nennmessweg gibt an, wie groß diese Verformung bei Nennkraft ist. Er ist eine wichtige Kenngröße, weil er zusammen mit der Nennkraft die Steifigkeit eines Aufnehmers bestimmt. Entscheidend für die Resonanzfrequenz des Kraftaufnehmers ist die Steifigkeit. Physikalisch ist es durchaus zulässig, einen Kraftaufnehmer mit einer sehr steifen Feder zu vergleichen.

Steifigkeit (c_{ax})

Die Steifigkeit eines Aufnehmers berechnet sich durch die Nennkraft F_{nom} und den Nennmessweg s_{nom} .

$$c_{ax} = \frac{F_{nom}}{s_{nom}}$$

Die Steifigkeit ist vorwiegend durch das Konstruktionsprinzip des Aufnehmers und seiner Nennkraft gegeben. Sie entspricht physikalisch einer Federkonstante. Die Steifigkeit ist entscheidend bei der Berechnung der Resonanzfrequenz eines Kraftaufnehmers.

Grundresonanzfrequenz (f_G)

Wie jedes System aus Masse und Feder weisen auch Kraftaufnehmer eine Resonanzfrequenz auf. Diese lässt sich berechnen durch:

$$f_G = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{ax}}{m}}$$

m ist hierbei die Masse, die schwingt, nicht zu verwechseln mit der Masse des Aufnehmers. Die Resonanzfrequenz in den technischen Daten berücksichtigt nur den Kraftaufnehmer und nicht die notwendigen Einbauteile. Die relevante Resonanzfrequenz des gesamten Aufbaus ändert sich natürlich, wenn zusätzliche Massen an den Aufnehmer montiert werden. Deshalb ist diese Angabe ein Richtwert. Für die dynamische Auslegung eines Aufbaus ist immer die Beachtung der Einbausituation erforderlich.

3. Kenngrößen hinsichtlich der auf den Kraftaufnehmer wirkenden Kräfte

(Relative) maximale Gebrauchskraft (F_G)

Die maximale Gebrauchskraft wird entweder absolut in N oder relativ zu Nennkraft F_{nom} in % angegeben. Bis zur maximalen Gebrauchskraft nimmt der Kraftaufnehmer keinen Schaden, wenn der

Kraftaufnehmer nicht mehrfach innerhalb dieses Bereiches benutzt wird. Es besteht ein wiederholbarer Zusammenhang zwischen dem Ausgangssignal und der angelegten Kraft, d. h. der Fehler der Messung steigt an, jedoch kann die Kraft noch abgeschätzt werden.

Kraftaufnehmer sollen so dimensioniert sein, dass die maximale Gebrauchskraft nicht benutzt wird.

(Relative) Grenzkraft (F_L)

Wie auch bei der Gebrauchskraft ist eine relative Angabe auf Basis der Nennkraft in % oder die absolute Gebrauchskraft in N üblich.

Wird der Aufnehmer oberhalb seiner Grenzkraft belastet, so ist damit zu rechnen, dass der Aufnehmer nicht mehr messfähig ist.

Oft ist der Kraftaufnehmer nach einer Überschreitung der Grenzkraft plastisch verformt, und es lässt sich eine deutliche Veränderung des Nullpunktes feststellen. Der Kraftaufnehmer darf dann nicht mehr eingesetzt werden und ist auszutauschen, da sich die technischen Daten des Kraftaufnehmers wesentlich geändert haben. Insbesondere besteht die Gefahr, dass die mechanischen Grenzwerte wie Bruchkraft und dynamische Schwingbreite geringer sind.

(Relative) Bruchkraft (F_B)

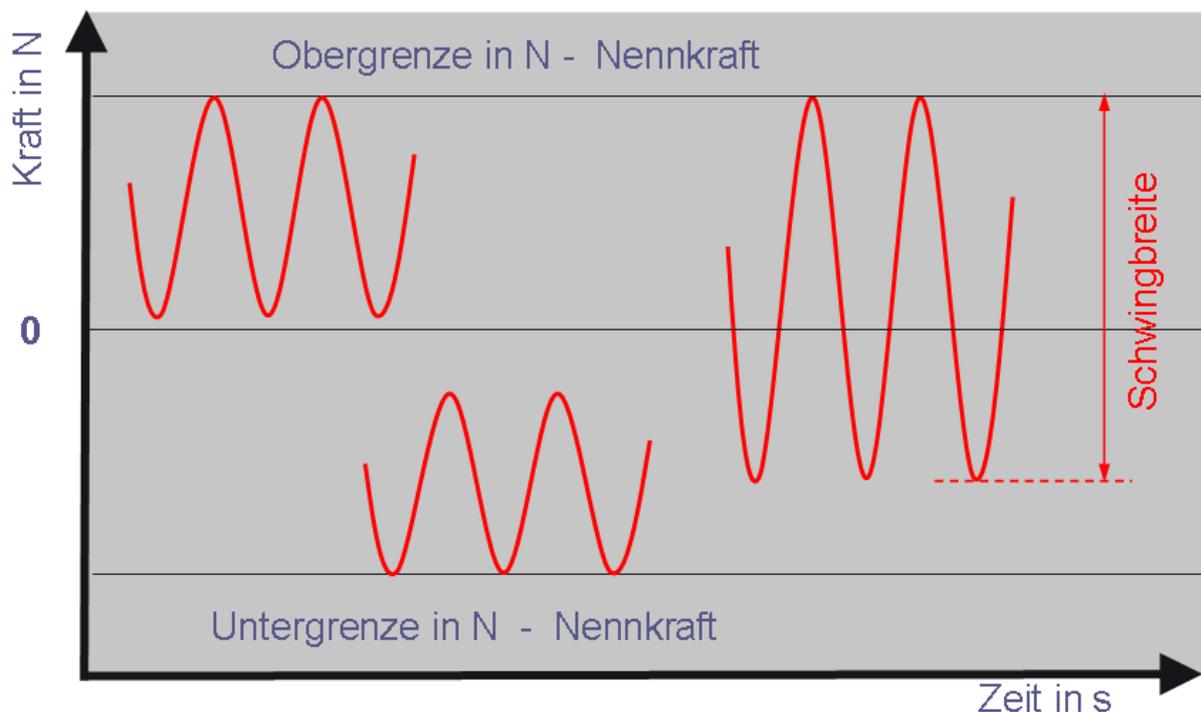
Die Angabe erfolgt absolut oder in %. Dem Namen der Kenngröße entsprechend ist ein Bruch des Aufnehmers möglich.

Tipp: Bitte beachten Sie hierzu die Sicherheitshinweise in der Montageanleitung der Kraftaufnehmer.

(Relative) zulässige Schwingbeanspruchung (F_{rb})

Die relative zulässige Schwingbeanspruchung gibt an, bis zu welcher Belastung der Kraftaufnehmer dauerhaft ist. Üblicherweise wird dieser Wert als relative Größe mit Basis zur Nennkraft angegeben. Die zulässige Schwingbeanspruchung wird grundsätzlich als Spitze – Spitze-Wert angegeben, d. h. die Differenz zwischen der höchsten und der niedrigsten Kraft. Kraftaufnehmer dürfen mit dieser Amplitude sowohl schwellend als auch alternierend belastet werden.

Beispiel: Ein Kraftaufnehmer für Zug- und Druckbelastung weist eine Nennkraft von 200 kN auf, die zulässige Schwingbreite ist 100 %. In diesem Fall darf der Aufnehmer zwischen 0 und 200 kN, aber auch zwischen -100 kN und 100 kN belastet werden.



Belastung

